

# Dimensionarea armăturii

Tutorial SectionPro — Armătura necesară pentru secțiuni hexagonale, pătrate goale și grinzi în U sub sarcini ELS și ELU (EC2, NBR-6118, BAEL 91)

BridgeKernel · 2026

## Introducere

Pentru un set de forțe interne impuse ( $N, M_y, M_z$ ) și o dispunere predefinită a barelor (poziții și spațiere), SectionPro determină diametrul minim al barelor  $\varphi_s$  necesar pentru a satisface limitele normative la fiecare poziție. Aceasta este problema inversă față de analiza de verificare a tensiunilor (Articolul #2): în loc să verifice dacă o armătură dată este suficientă, programul găsește armătura care realizează echilibrul sub sarcinile impuse.

Rezolvatorul iterează pe  $\varphi_s$  până când starea de deformăție ( $\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z$ ) satisface echilibrul intern cu limitele normative de deformăție atinse exact. Când betonul singur poate rezista sarcinilor impuse fără armătură, rezultatul este  $A_s = 0$  — nu este necesar oțel.

Acest articol folosește aceleași trei secțiuni și aceleași cazuri de încărcare ca Articolul #2. În Articolul #2, armătura era fixă și unele cazuri de încărcare depășeau capacitatea secțiunii (FS > 1, verificare KO). Aici determinăm armătura care ar fi necesară. Corelația este directă: un FS mai mare în Articolul #2 înseamnă un  $\varphi_s$  mai mare necesar în Articolul #3.

## Rezultate calculate

SectionPro raportează trei categorii de rezultate per caz de încărcare:

### Tensiuni și deformății + dimensionare

$\sigma_c$  — Tensiune extremă în beton  
 $\sigma_{s, \min}, \sigma_{s, \max}$  — Tensiuni în oțel  
 $\varepsilon_c$  — Deformăție extremă în beton  
 $\varepsilon_{s, \min}, \varepsilon_{s, \max}$  — Deformății în oțel  
Pivot — Mod de rupere (A, B sau  $A_s = 0$ )  
 $\varphi_s$  — Diametrul barei necesar

### Forțe interne

$N_c$  — Rezultanta de compresiune  
 $N_t$  — Rezultanta de tracțiune  
 $(x_C, y_C)$  — Centroidul compresiunii  
 $(x_T, y_T)$  — Centroidul tracțiunii  
 $z$  — Brațul de pârghie intern

### Convergență

$N_{\text{iter}}$  — Iterații  
Tol — Toleranță de convergență  
 $N_{\text{int}}, M_{z, \text{int}}, M_{y, \text{int}}$  — Forțe interne  
 $\varepsilon_0, \kappa_x, \kappa_y$  — Stare de deformăție

## Pivoți de rupere

Pivotul de rupere indică ce material atinge primul deformația ultimă:

- **Pivot A** — **Ruperea oțelului.** Armătura întinsă atinge  $\varepsilon_{su}$  înainte de zdrobirea betonului. Tipic secțiunilor slab armate. Deformație determinantă:  $\varepsilon_s = \varepsilon_{su}$ .
- **Pivot B** — **Ruperea betonului.** Betonul atinge  $\varepsilon_{cu}$  înainte de curgerea completă a oțelului. Tipic secțiunilor puternic solicitate. Deformație determinantă:  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ .
- **Pivot C** — **Compresiune puternică.** Deformația atinge  $\varepsilon_c = \varepsilon_{c2}$  la  $(1 - \varepsilon_{c2}/\varepsilon_{cu2}) \cdot h$  de la fibra cea mai comprimată ( $3h/7$  pentru  $\varepsilon_{c2} = 2\text{‰}$  și  $\varepsilon_{cu2} = 3.5\text{‰}$ ). Rar în practică.
- **Pivot  $A_s = 0$**  — **Fără armătură.** Betonul singur rezistă sarcinilor. Aria de oțel necesară este zero.

## Secțiune hexagonală solidă

### Date de intrare

#### Beton

- Secțiune transversală hexagonală
- Lățime  $B = 2.00$  m
- Grosime minimă  $h_1 = 0.60$  m
- Grosime maximă  $h_2 = 1.00$  m

#### Dispunerea armăturii

- Spațiere uniformă 150 mm
- 30 poziții de bare
- Acoperire cu beton 50 mm — 1 strat
- Diametru  $\varphi_s$ : **de determinat**

#### Legi de material (EC2)

- Beton C30/37:  $f_{ck} = 30$  MPa
- Oțel B500B:  $f_{yk} = 500$  MPa

The screenshot shows a 'Data' window for a 'Solid hexagonal section'. It has two main sections: 'Concrete' and 'Reinforcement'.  
**Concrete:** Height h1 (m) is 0.6, Height h2 (m) is 1, and Width (m) is 2.  
**Reinforcement:** Mode is 'uniform spacing'. Bar spacing (mm) is 150, Bar diameter (mm) is 25, Concrete cover (mm) is 50, and Layers (1 or 2) is 1.  
 Below the input fields are 'Submit' and 'Infos' buttons. At the bottom, there is a 3D visualization of a hexagonal cross-section with reinforcement bars distributed uniformly around its perimeter.

Figura 1: Secțiune hexagonală.

## ELS — Încovoiere compusă ( $N + M_z$ )

Sarcini impuse:  $N = 500$  kN,  $M_z = 1000$  kN · m,  $M_y = 0$

Visualization of stresses and strains

Load 1   $\sigma$    $\varepsilon$   N  Q  Details

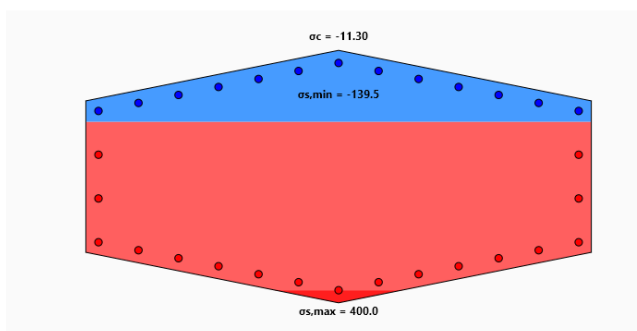


Figura 2: Distribuția tensiunilor.

Visualization of stresses and strains

Load 1   $\sigma$    $\varepsilon$   N  Q  Details

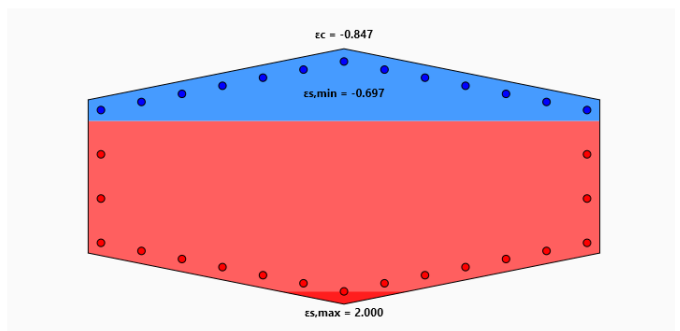


Figura 3: Distribuția deformațiilor.

**Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare**

$\sigma_c$	-11.30 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-139.49 MPa
$\sigma_{s, \max}$	400.00 MPa
$\varepsilon_c$	-0.847‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-0.697‰
$\varepsilon_{s, \max}$	2.000‰
Pivot	<b>A</b>
$\varphi_s$	<b>17.60 mm</b>

$N_c$	1697.8 kN
$N_t$	-1197.8 kN
$x_C$	0.000 m
$y_C$	0.364 m
$x_T$	0.000 m
$y_T$	-0.320 m
$z$	0.683 m

**Convergență**

$N_{iter}$	4
Tol	$3.57 \times 10^{-8}$
$N_{int}$	500.0 kN
$M_{z, int}$	1000.0 kN · m
$M_{y, int}$	0.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$0.651 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-2.997 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$0.000 \times 10^{-3}$

Pivot A: oțelul guvernează ( $\varepsilon_{s, \max} = 2.000\text{‰} = \varepsilon_{su}$ ). Diametru necesar:  $\varphi_s = 17.60$  mm, 30 poziții.

**ELU — Încovoiere biaxială ( $N + M_y + M_z$ )**

Sarcini impuse:  $N = 2000$  kN,  $M_z = 3000$  kN · m,  $M_y = 1800$  kN · m

Visualization of stresses and strains

Load 2   $\sigma$    $\varepsilon$   N  Q  Q  Details

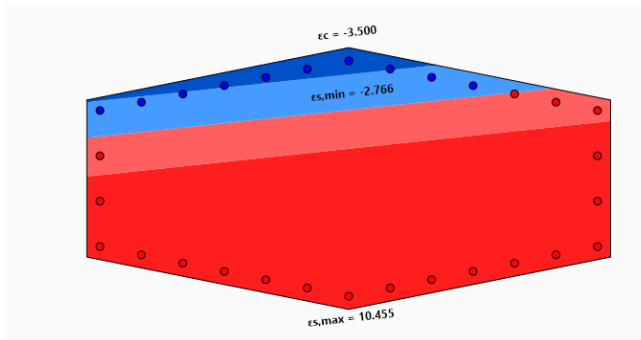


Figura 4: Distribuția tensiunilor.

Visualization of stresses and strains

Load 2   $\sigma$    $\varepsilon$   N  Q  Q  Details

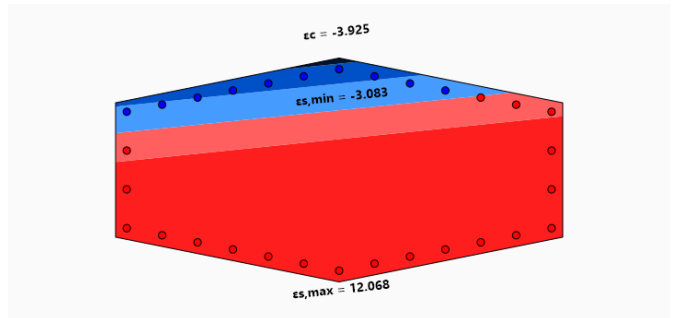


Figura 5: Distribuția deformațiilor.

**Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare**

$\sigma_c$	-20.00 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-435.21 MPa
$\sigma_{s, \max}$	440.81 MPa
$\varepsilon_c$	-3.500‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-2.766‰
$\varepsilon_{s, \max}$	10.455‰
Pivot	<b>B</b>
$\varphi_s$	<b>25.12 mm</b>

$N_c$	5827.2 kN
$N_t$	-3827.2 kN
$x_C$	-0.255 m
$y_C$	0.355 m
$x_T$	0.082 m
$y_T$	-0.243 m
$z$	0.687 m

**Convergență**

$N_{iter}$	43
Tol	$3.66 \times 10^{-8}$
$N_{int}$	2000.0 kN
$M_{z, int}$	3000.0 kN · m
$M_{y, int}$	1800.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$3.845 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-14.689 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$-1.556 \times 10^{-3}$

Pivot B: betonul guvernează ( $\varepsilon_c = -3.500\text{‰} = \varepsilon_{cu}$ ). Diametru necesar:  $\varphi_s = 25.12$  mm (ELU biaxial).

# Secțiune pătrată goală

## Date de intrare

### Beton

- Secțiune pătrată goală
- Latură exterioară  $a = 2.0$  m
- Grosimea peretelui  $t = 0.30$  m

### Dispunerea armăturii

- Spațiere uniformă 150 mm
- 64 poziții de bare
- Acoperire cu beton 40 mm
- 1 strat pe fiecare față (interioară + exterioară)
- Diametru  $\varphi_s$ : de determinat

### Legi de material (NBR-6118)

- Beton C30:  $f_{ck} = 30$  MPa
- Oțel:  $f_{yk} = 500$  MPa

The screenshot shows a software interface for defining a hollow square section. The 'Data' panel is titled 'Hollow Square Section'. Under 'Concrete', the 'Side length (m)' is set to 2 and 'Thickness (m)' is 0.3. Under 'Reinforcement', the 'Mode' is 'uniform spacing', 'Bar spacing (mm)' is 200, 'Bar diameter (mm)' is 20, 'Concrete cover (mm)' is 40, and 'Layers (1 or 2)' is 1. There are 'Submit' and 'Infos' buttons. Below the form is a diagram of a square section with reinforcement bars.

Figura 6: Secțiune pătrată goală — geometrie și dispunerea armăturii.

## ELS — Încovoiere biaxială ( $N + M_y + M_z$ )

Sarcini impuse:  $N = -400$  kN,  $M_z = 900$  kN · m,  $M_y = 400$  kN · m

Visualization of stresses and strains

Load 1   $\sigma$    $\varepsilon$   N   $\mu$    $\nu$    $\omega$    $\theta$    $\phi$    $\psi$    $\chi$    $\lambda$    $\delta$    $\gamma$    $\beta$    $\alpha$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$    $\lambda$    $\mu$    $\nu$    $\xi$    $\zeta$    $\eta$    $\theta$    $\iota$    $\kappa$

**Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare**

$\sigma_c$	-4.79 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-62.26 MPa
$\sigma_{s, \max}$	400.02 MPa
$\varepsilon_c$	-0.342‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-0.296‰
$\varepsilon_{s, \max}$	1.905‰
Pivot	<b>A</b>
$\varphi_s$	<b>10.00 mm</b>

$N_c$	468.2 kN
$N_t$	-868.2 kN
$x_C$	-0.622 m
$y_C$	0.908 m
$x_T$	0.126 m
$y_T$	-0.547 m
$z$	1.636 m

**Convergență**

$N_{\text{iter}}$	575
Tol	$2.63 \times 10^{-8}$
$N_{\text{int}}$	-400.0 kN
$M_{z, \text{int}}$	900.0 kN · m
$M_{y, \text{int}}$	400.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$0.804 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-0.920 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$-0.226 \times 10^{-3}$

Pivot A: oțelul guvernează ( $\varepsilon_{s, \max} = 2.000\text{‰} = \varepsilon_{su}$ ). Diametru necesar:  $\varphi_s = 10.00$  mm.

**ELU — Încovoiere biaxială ( $N + M_y + M_z$ )**

Sarcini impuse:  $N = 0$  kN,  $M_z = 6000$  kN · m,  $M_y = 6000$  kN · m

Visualization of stresses and strains

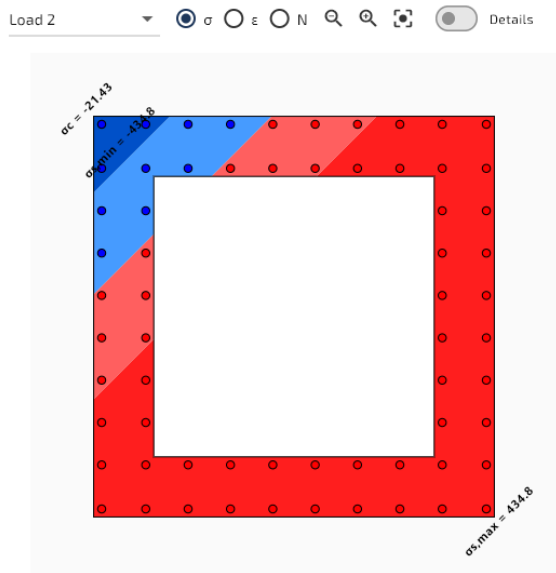


Figura 9: Distribuția tensiunilor.

Visualization of stresses and strains

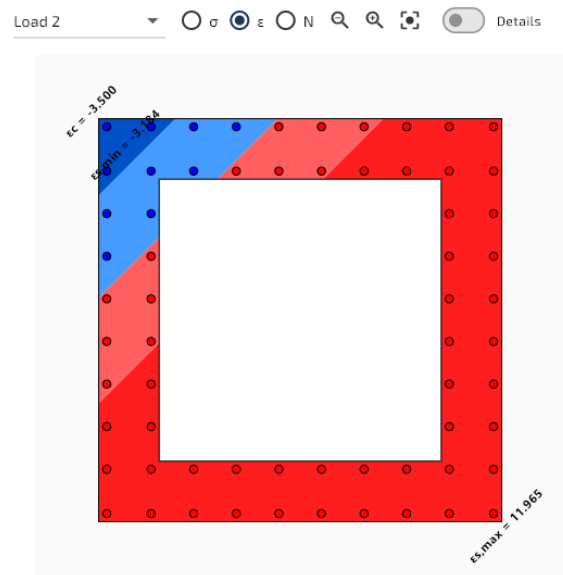


Figura 10: Distribuția deformațiilor.

**Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare**

$\sigma_c$	-21.43 MPa
$\sigma_{s, \min}$	-434.78 MPa
$\sigma_{s, \max}$	434.78 MPa
$\varepsilon_c$	-3.500‰
$\varepsilon_{s, \min}$	-3.184‰
$\varepsilon_{s, \max}$	11.965‰
Pivot	<b>B</b>
$\varphi_s$	<b>19.38 mm</b>

$N_c$	5901.2 kN
$N_t$	-899.0 kN
$x_C$	-0.756 m
$y_C$	0.751 m
$x_T$	-0.179 m
$y_T$	0.421 m
$z$	0.664 m

**Convergență**

$N_{\text{iter}}$	41
Tol	$3.40 \times 10^{-8}$
$N_{\text{int}}$	0.0 kN
$M_{z, \text{int}}$	6000.0 kN · m
$M_{y, \text{int}}$	6000.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$4.390 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-3.945 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$-3.945 \times 10^{-3}$



### Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare

$\sigma_c$	-11.98 MPa
$\sigma_{s,\min}$	-168.65 MPa
$\sigma_{s,\max}$	250.00 MPa
$\varepsilon_c$	-0.898‰
$\varepsilon_{s,\min}$	-0.843‰
$\varepsilon_{s,\max}$	1.250‰
Pivot	<b>A</b>
$\varphi_s$	<b>17.88 mm</b>

$N_c$	1680.9 kN
$N_t$	-1680.9 kN
$x_C$	0.000 m
$y_C$	0.571 m
$x_T$	0.000 m
$y_T$	-0.321 m
$z$	0.892 m

### Convergență

$N_{\text{iter}}$	4
Tol	$2.21 \times 10^{-7}$
$N_{\text{int}}$	0.0 kN
$M_{z,\text{int}}$	1500.0 kN · m
$M_{y,\text{int}}$	0.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$0.434 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-1.836 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$0.000 \times 10^{-3}$

Pivot A: oțelul guvernează ( $\sigma_{s,\max} = 250.00 \text{ MPa} = \bar{\sigma}_s$ , tensiunea admisibilă BAEL). Diametrul necesar:  $\varphi_s = 17.88 \text{ mm}$ , uniform pe 60 de poziții.

## ELU — Încovoiere biaxială ( $M_y + M_z$ )

Sarcini impuse:  $N = 0 \text{ kN}$ ,  $M_z = 2000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,  $M_y = 500 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Visualization of stresses and strains

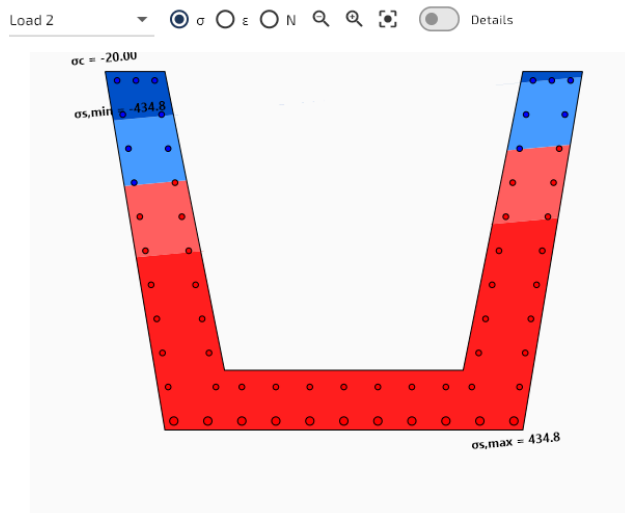


Figura 14: Distribuția tensiunilor.

Visualization of stresses and strains

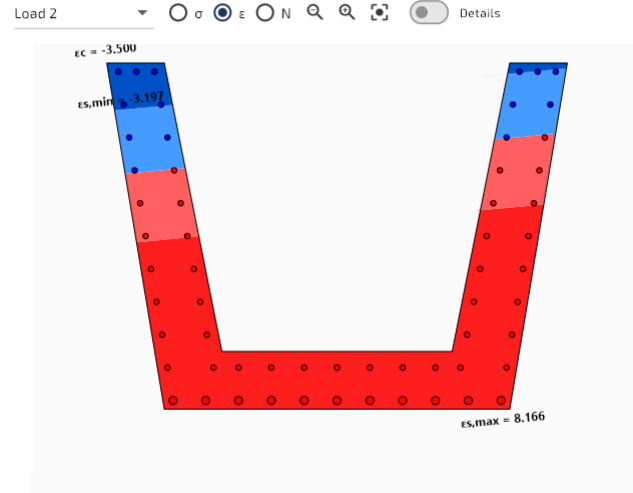


Figura 15: Distribuția deformațiilor.

### Tensiuni și deformații + Forțe interne dimensionare

$\sigma_c$	-20.00 MPa
$\sigma_{s,\min}$	-434.78 MPa
$\sigma_{s,\max}$	434.78 MPa
$\varepsilon_c$	-3.500‰
$\varepsilon_{s,\min}$	-3.197‰
$\varepsilon_{s,\max}$	8.166‰
Pivot	<b>B</b>
$\varphi_s$	<b>13.26 mm</b>

$N_c$	2386.2 kN
$N_t$	-405.4 kN
$x_C$	-0.142 m
$y_C$	0.596 m
$x_T$	-0.060 m
$y_T$	0.191 m
$z$	0.413 m

### Convergență

$N_{\text{iter}}$	39
Tol	$3.29 \times 10^{-8}$
$N_{\text{int}}$	0.0 kN
$M_{z,\text{int}}$	2000.0 kN · m
$M_{y,\text{int}}$	500.0 kN · m
$\varepsilon_0$	$3.693 \times 10^{-3}$
$\kappa_x$	$-8.996 \times 10^{-3}$
$\kappa_y$	$-0.833 \times 10^{-3}$

Pivot B: betonul guvernează ( $\varepsilon_c = -3.500\text{‰} = \varepsilon_{cu}$ ). Diametru necesar:  $\varphi_s = 13.26 \text{ mm}$  (ELU biaxial).

# Validarea rezultatelor

## Verificarea echilibrului intern

Sarcinile impuse ( $N, M_y, M_z$ ) sunt **datele de intrare**. SectionPro găsește  $\varphi_s$  și starea de deformație ( $\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z$ ) iterativ, apoi integrează tensiunile pentru a obține forțele **interne** ( $N_{\text{int}}, M_{y,\text{int}}, M_{z,\text{int}}$ ). La convergență:

$$N_{\text{int}} \approx N \quad M_{y,\text{int}} \approx M_y \quad M_{z,\text{int}} \approx M_z$$

Secțiune	Încărcare	$N$ (kN)	$N_{\text{int}}$ (kN)	$M_z$ (kN·m)	$M_{z,\text{int}}$ (kN·m)	$\Delta$
Hexagonală	ELS	500.0	500.0	1000.0	1000.0	0.00 %
	ELU	2000.0	2000.0	3000.0	3000.0	0.00 %
Pătr. goală	ELS	-400.0	-400.0	900.0	900.0	0.00 %
	ELU	0.0	0.0	6000.0	6000.0	0.00 %
Grindă U	ELS	0.0	0.0	1500.0	1500.0	0.00 %
	ELU	0.0	0.0	2000.0	2000.0	0.00 %

Echilibrul intern este satisfăcut cu precizia mașinii pentru toate cele șase cazuri — trei geometrii, trei coduri normative, legi liniare (ELS) și neliniare (ELU).

## Referință încrucișată cu Articolul #2

Tabelul compară factorul de siguranță din Articolul #2 (armătură fixă) cu  $\varphi_s$  necesar calculat aici. Se aplică un  $\varphi_s$  uniform la toate pozițiile.

Secțiune	Încărcare	$\varphi_s$ (Art. #2)	FS (Art. #2)	Verif. (Art. #2)	Pivot	$\varphi_s$ necesar
Hexagonală	ELS	25 mm	0.527	OK	A	17.6 mm
	ELU	25 mm	1.121	KO	B	25.1 mm
Pătr. goală	ELS	20 mm	0.274	OK	A	10.0 mm
	ELU	20 mm	0.634	OK	B	19.4 mm
Grindă U	ELS	20/12 mm	1.209	KO	A	17.9 mm
	ELU	20/12 mm	0.436	OK	B	13.3 mm

Pentru secțiunile cu armătură uniformă (hexagonală și pătrată goală), corelația este directă:  $FS > 1$  implică  $\varphi_{s,\text{required}} > \varphi_{s,\text{original}}$  și invers. Pentru grinda U, care avea diametre mixte (20 mm în inimi și 12 mm în placa inferioară), comparația trebuie făcută pe aria totală de oțel, nu pe  $\varphi_s$  singur.

## Benchmark de performanță — 100.000 cazuri de încărcare

Pentru a demonstra adecvarea SectionPro, rulăm 100.000 de cazuri pe **fiecare dintre cele trei secțiuni**. Cazurile combină ELS/ELU, încovoiere uniaxială și biaxială. Se măsoară timpul pur de calcul. Convergența a fost obținută pentru toate cele 300.000 de cazuri.

Metrică	Hexagonală	Pătrată goală	Grindă U
Cazuri de încărcare	100.000	100.000	100.000
Timp de calcul	5,26 s	5,30 s	5,35 s
Rată	19.000 înc./s	18.900 înc./s	18.700 înc./s

Toate cele trei secțiuni se finalizează în aproximativ 5,3 secunde pentru 100.000 de cazuri — rate de 18.700 până la 19.000 dimensionări pe secundă. Acest lucru este mai lent decât verificarea tensiunilor (Articolul #2), ceea ce este de așteptat: dimensionarea armăturii adaugă o buclă iterativă exterioară pe  $\varphi_s$ , fiecare iterație necesitând rezolvarea completă a stării de deformație ( $\varepsilon_0, \kappa_y, \kappa_z$ ).

Convergența a fost obținută pentru toate cele 300.000 de cazuri, pentru toate cele trei geometrii, codurile normative și stările limită. În ciuda acestui nivel suplimentar de calcul, SectionPro dimensionează 100.000 de cazuri de încărcare în sub 6 secunde, ceea ce îl face practic pentru dimensionarea sistematică a armăturii pentru ansambluri mari de sarcini.

## Export

SectionPro exportă rezultatele în trei formate: **PDF**, **text** (coloane cu lățime fixă) și **Excel** (.xlsx). Datele exportate includ, per caz de încărcare: tensiuni și deformații, pivotul de rupere, diametrul necesar  $\varphi_s$ , forțele interne (cu centroizi și brațul de pârghie) și informații complete de convergență.

**REINFORCEMENT DESIGN RESULTS**  
GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-13 13:49

Load case #2 is the most unfavorable

$\varepsilon$ ,  $\sigma$  and  $\varphi_s$

$\varphi_s$  is the calculated reinforcement diameter.  $\sigma$  and  $\varepsilon$  are the stresses and strains of concrete and steel (indices c and s). The pivot indicates the limit strain reached (A: steel, B: concrete, As0: concrete alone sufficient).

Param	Unit	#2	#1
$\sigma_c$	MPa	-20.00	-11.30
$\sigma_{s,min}$	MPa	-435.21	-139.49
$\sigma_{s,max}$	MPa	440.81	400.00
$\varepsilon_c$	‰	-3.500	-0.847
$\varepsilon_{s,min}$	‰	-2.766	-0.697
$\varepsilon_{s,max}$	‰	10.455	2.000
Pivot	-	B	A
$\varphi_s$	mm	25.12	17.60

**Internal forces**

$N_c$  and  $N_t$  are the compression and tension forces resulting from the integration of stresses over the section. The application coordinates of these forces are given by xy. The lever arm z is the distance between these forces.

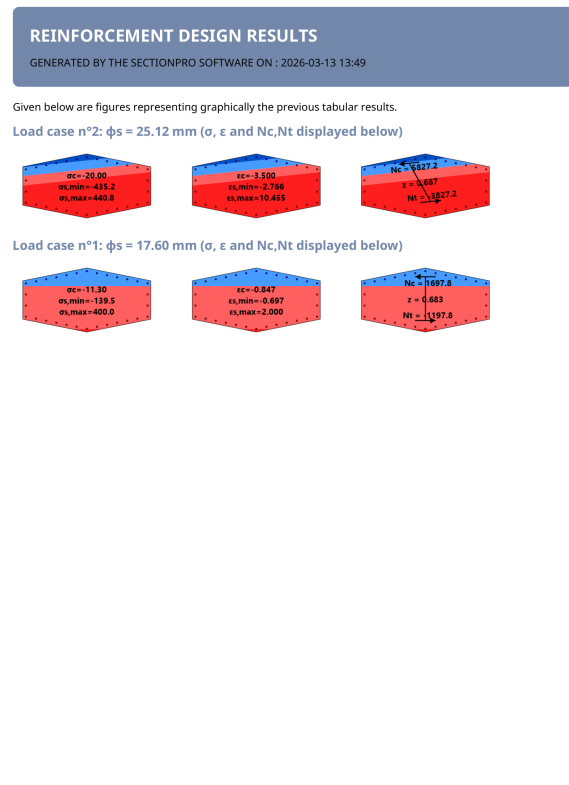
Param	Unit	#2	#1
$N_c$	kN	5827.2	1697.8
$N_t$	kN	-3827.2	-1197.8
xC	m	-0.255	-0.000
yC	m	0.355	0.363
xT	m	0.082	0.000
yT	m	-0.243	-0.320
z	m	0.687	0.683

**Convergence**

Given below are the number of iterations necessary for convergence of the solution algorithm, the tolerance achieved, the internal forces ( $N, M_z, M_y$ ) and the deformation state of the section ( $\varepsilon_0, \kappa_x, \kappa_y$ ).

Param	Unit	#2	#1
$N_{iter}$	-	43	4
Tol	-	3.66e-8	3.57e-8
$N_{int}$	kN	2000.0	500.00
$M_z_{int}$	kN-m	3000.0	1000.00
$M_y_{int}$	kN-m	1800.0	0.0
$\varepsilon_0$	‰	3.845	0.651
$\kappa_x$	‰	-14.689	-2.997
$\kappa_y$	‰	-1.556	-0.000

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

Figura 16: Export PDF — pagina 1: tabele de rezultate.

Figura 17: Export PDF — pagina 2: figuri.

## | Concluzie

În practică, un inginer structurist se confruntă de obicei cu două probleme complementare: fie verificarea unei secțiuni cu armătură cunoscută — așa cum s-a tratat în Articolul #2 — fie determinarea armăturii necesare pentru a rezista unui set dat de sarcini. Funcția de dimensionare a armăturii abordează direct al doilea caz. Când dispunerea barelor este cunoscută dar diametrul nu este încă fixat, SectionPro găsește  $\varphi_s$  minim astfel încât secțiunea să fie solicitată exact la 100% din capacitatea sa sub limitele normative de deformație. Aceasta oferă inginerului armătura strict minimă ca punct de plecare, de la care poate fi selectat un diametru practic de bară.

Rezultatele sunt consistente cu formularea problemei inverse: echilibrul intern este satisfăcut cu precizia mașinii pentru toate cazurile de încărcare, pentru trei geometrii diferite, trei coduri normative și atât stări limită de serviciu (ELS) cât și ultime (ELU). Rezolvatorul converge fiabil în toate cazurile. În ceea ce privește performanța, benchmark-ul de 100.000 de cazuri servește ca limită superioară — în practică, un inginer structurist lucrează de obicei cu câteva sute de combinații de sarcini. La viteza măsurată de 19.000 dimensionări pe secundă, 500 de combinații se finalizează în sub 30 de milisecunde: calculul este în esență instantaneu.